



**You have downloaded a document from
RE-BUŚ
repository of the University of Silesia in Katowice**

Title: Wybrane problemy rekultywacji zwałowiska odpadów pogórnich na przykładzie zwałowiska "Ruda" w Zabrze-Biskupicach

Author: Robert Hanczaruk, Natalia Gołąb

Citation style: Hanczaruk Robert, Gołąb Natalia. (2016). Wybrane problemy rekultywacji zwałowiska odpadów pogórnich na przykładzie zwałowiska "Ruda" w Zabrze-Biskupicach. "Prace Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu" (Nr 461 (2016), s. 65-75), DOI:10.15611/pn.2016.461.06



Uznanie autorstwa - Użycie niekomercyjne - Bez utworów zależnych Polska - Licencja ta zezwala na rozpowszechnianie, przedstawianie i wykonywanie utworu jedynie w celach niekomercyjnych oraz pod warunkiem zachowania go w oryginalnej postaci (nie tworzenia utworów zależnych).



UNIWERSYTET ŚLĄSKI
W KATOWICACH



Biblioteka
Uniwersytetu Śląskiego



Ministerstwo Nauki
i Szkolnictwa Wyższego

Robert Hanczaruk

Uniwersytet Śląski w Katowicach
e-mail: rhanczaruk@us.edu.pl

Natalia Gołąb

Uniwersytet Pedagogiczny im. KEN w Krakowie
e-mail: nat.golab@gmail.com

WYBRANE PROBLEMY REKULTYWACJI ZWAŁOWISKA ODPADÓW POGÓRNICZYCH NA PRZYKŁADZIE ZWAŁOWISKA „RUDA” W ZABRZU-BISKUPICACH

CHOSEN PROBLEMS OF RECLAMATION OF COAL MINE HEAPS ON THE EXAMPLE OF “RUDA” HEAP IN ZABRZE-BISKUPICE

DOI: 10.15611/pn.2016.461.06

Streszczenie: Artykuł prezentuje wyniki badań nad wpływem właściwości fizyczno-chemicznych podłoża oraz aktywności termicznej zwałowiska „Ruda” w Zabrze-Biskupicach na różnorodność gatunkową roślinności oraz standard życia i bezpieczeństwo mieszkańców. Powierzchnia obszaru objętego aktywnością termiczną w północno-zachodniej części zwałowiska stale się powiększa i wskutek ekstremalnych warunków siedliskowych pozbawiona jest pokrywy roślinnej. Na powierzchniach nieaktywnych termicznie, ale o podwyższonej temperaturze podłoża obserwowano wyraźny spadek różnorodności gatunkowej. Wysokie pokrycie uzyskiwały inwazyjne gatunki obcego pochodzenia: *Conyza canadensis* i *Solidago gigantea*. Znacznym zagrożeniem dla mieszkańców są gazowe produkty reakcji zachodzących wewnątrz zapożarowanej części zwałowiska oraz wzrost zapylenia powietrza atmosferycznego. Ocena ryzyka zagrożenia pożarowego wykazała, iż ryzyko jest średnie, co oznacza, że pożar w chwili obecnej stanowi zagrożenie dla mieszkańców.

Słowa kluczowe: zwałowisko „Ruda”, odpady pogórnice, rekultywacja, szkieletowość, aktywność termiczna, różnorodność gatunkowa, zagrożenie pożarowe.

Summary: The paper presents the results of research on the influence of physico-chemical substratum parameters and thermal activity of post-mining heap “Ruda” in Zabrze-Biskupice on species diversity of vegetation, standard of living and safety of the inhabitants. The area of the north-west part of the heap being under thermal activity is still increasing and as a result of extreme habitat conditions is not covered by vegetation. Moreover, in area with higher temperature of the substratum the decrease in species diversity was recorded. With higher coverage occurred such invasive alien species as: *Conyza canadensis* and *Solidago gigantea*.

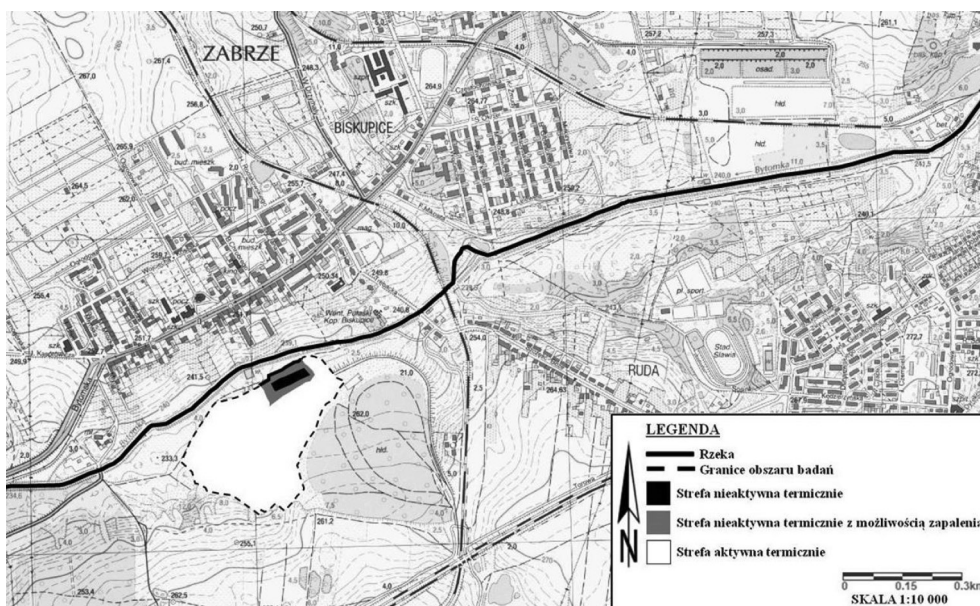
Significant threats to inhabitants are gaseous products of reactions that take place inside a part of the spoil heap being under thermal activity and increasing air dust concentration. The risk assessment has shown that fire hazard is medium. It means that fire at the moment is a hazard to people that live in the neighbourhood.

Keywords: “Ruda” heap, post-mining wastes, recultivation, soil texture, thermal activity, species diversity, fire hazard.

1. Wstęp

Wydobycie węgla kamiennego skutkuje powstawaniem znacznych ilości odpadów. Na każdą wydobytą tonę węgla kamiennego przypada średnio 400 kg odpadów [Strzyszczyński, Harabin 2004]. Depozycja odpadów pogórnich na zwałowiskach generuje wiele zagrożeń dla środowiska przyrodniczego [Gawor i in. 2014]. Z racji dużej zawartości części gruboziarnistych zwałowiska pogórnice charakteryzują się wysoką wodoprzepuszczalnością. Powoduje to m.in. wymywanie zawartych w odpadach związków siarki przez infiltrujące wody opadowe, co powoduje drastyczny spadek wartości pH zwałowanego materiału. Ponadto materiał odpadowy zawierający znaczną ilość składników palnych – węgla (do 30%) oraz pirytu (do 8%) – w kontakcie z tlenem ulega naturalnemu procesowi samozagrzewania, a w konsekwencji samozapalenia [Szafer 1985; Skarżyńska 1997]. W efekcie tego zjawiska do atmosfery emitowane są zanieczyszczenia gazowe, takie jak m.in. dwutlenek siarki, dwutlenek azotu, węglowodory alifatyczne i aromatyczne, siarkowodor i dwusiarczek węgla, jak również substancje z grupy odorantów – głównie związki siarki i węglowodory, co powoduje wyraźny dyskomfort zapachowy dla okolicznych mieszkańców. Istotnym skutkiem aktywności termicznej zwałowiska jest również wzrost zapylenia atmosfery w jego sąsiedztwie [Drenda i in. 2007; Gawor i in. 2014].

W obrębie Górnośląskiego Zagłębia Węglowego usypano 219 zwałowisk odpadów pogórnich o łącznej powierzchni około 4000 ha. Najwyższą ich koncentrację odnotowuje się w centralnej jego części, przede wszystkim na terenie miasta Zabrze, gdzie istnieją 34 zwałowiska [Gawor i in. 2014]. Jednym z nich jest usypane w latach 1960-1997 zwałowisko „Ruda” o powierzchni około 27 ha, zlokalizowane w środkowo-wschodniej części miasta Zabrze, w dzielnicy Biskupice, przy granicy z miastem Ruda Śląska. Od strony północnej, w odległości 75 m od zwałowiska, przepływa rzeka Bytomka, dalej, w odległości 150 m, znajdują się zabudowania mieszkalne przy ul. Bytomskiej. Od zachodu zwałowisko graniczy z zabudową mieszkalną przy ul. Trębackiej (300 m) i szlakiem kolejowym Gliwice–Katowice (400 m) (rys. 1). W latach 2006-2011 kosztem ponad 12 mln zł w ramach zadania „Likwidacja pożaru hałdy Ruda w Zabrzu” przeprowadzono prace gaszeniowe na objętej zapożarowaniem powierzchni około 2 ha w północno-zachodniej części zwałowiska. Celem oceny skuteczności prac gaszeniowych do końca 2013 roku wykonywane były badania aktywności termicznej zwałowiska [*Halda Ruda...* 2011].



Rys. 1. Szkic sytuacyjny obszaru badań

Źródło: opracowanie własne na podstawie GUGiK [2016].

Niniejszy artykuł prezentuje główne problemy związane z rekultywacją zwałowiska „Ruda” w Zabrzu-Biskupicach. W tym celu w ramach badań przeprowadzonych w latach 2015-2016 określono wpływ właściwości fizyczno-chemicznych podłoża oraz aktywności termicznej zwałowiska na różnorodność gatunkową roślinności oraz standard życia i bezpieczeństwo mieszkańców.

2. Materiały i metody

W celu rozpoznania aktualnego zróżnicowania roślinności na obszarze zwałowiska wykonano zdjęcia fitysocjologiczne według metody Braun-Blanqueta zmodyfikowanej przez van der Maarel [1979], każde o powierzchni 100 m². Nomenklaturę taksonów przyjęto za Mirkiem i in. [2002]. Florę zwałowiska przeanalizowano pod kątem udziału w składzie gatunkowym grup geograficzno-historycznych [Sudnik-Wójcikowska, Koźniewska 1988; Frank, Klotz 1990; Mirek i in. 2002; Tokarska-Guzik i in. 2012]. W przypadku kenofitów wyszczególniono gatunki o cechach inwazyjnych [Tokarska-Guzik i in. 2012]. Dla poszczególnych zdjęć fitysocjologicznych obliczono bogactwo gatunkowe (liczbę gatunków) oraz wskaźnik różnorodności gatunkowej Shannona-Wieniera [1949].

W miesiącach grudzień, maj i lipiec dokonano pomiaru temperatury podłoża (0-10 cm) w 3 powtórzeniach. W celu określenia właściwości fizyczno-chemicz-

nych podłoża każdej z wyznaczonych powierzchni badawczych pobrano uśrednione próby glebowe z dwudziestu powtórzeń, z głębokości 0-20 cm. Zakres analiz obejmował określenie:

- składu granulometrycznego metodą Casgrande'a w modyfikacji Prószyńskiego [PN-R-04032],
- pH w zawiesinie z dodatkiem 1 M KCl metodą potencjometryczną (stosunek gleba: roztwór KCl 1:2,5),
- przewodności elektrolitycznej w wodzie zdejonizowanej metodą konduktometryczną (stosunek gleba: woda zdejonizowana 1:2,5),
- całkowitej pojemności wodnej (WHC),
- zawartości materii organicznej (SOM) poprzez określenie strat prażenia w temperaturze 550°C,
- zawartości węgla wapnia (CaCO_3) metodą Scheiblera.

Na podstawie przeprowadzonych pomiarów temperatury podłoża i analiz glebowych obszar zwałowiska podzielono na strefy zróżnicowane pod względem aktywności termicznej i właściwości fizyczno-chemicznych podłoża.

W celu określenia wpływu właściwości fizyczno-chemicznych i aktywności termicznej podłoża zwałowiska na wartość wskaźnika różnorodności Shannona-Wienera zastosowano analizę ANOVA Friedmana, test χ^2 [Friedman 1937] oraz współczynnik zgodności Kendalla i Smitha [1939]. Przed wykonaniem analizy dokonano rangowania wartości wskaźnika Shannona-Wienera, przypisując stanowiskom o najwyższej wartości wskaźnika rangę 1, stanowiskom zaś o najniższej wartości wskaźnika rangę 11.

W celu rozpoznania potencjalnych zagrożeń dla mieszkańców dokonano wizji lokalnej, która pozwoliła na zidentyfikowanie potencjalnych zagrożeń dla mieszkańców Biskupic. Dokonano oceny ryzyka pożarowego, wykorzystując dwie metody:

- matrycy ryzyka, zaproponowaną przez Rządowe Centrum Bezpieczeństwa do opracowania Raportu o zagrożeniach bezpieczeństwa narodowego [RCB 2010],
- oceny ryzyka bezpieczeństwa publicznego [Gołąb 2016].

Metoda zaproponowana przez RCB jest metodą matrycową, pięciostopniową, w ramach której określa się prawdopodobieństwo wystąpienia danego zagrożenia oraz jego skutek w ramach kategorii życie i zdrowie (Z), mienie wraz z infrastrukturą (M) i środowisko (S). Ryzyko zagrożenia może być minimalne, małe, średnie, duże lub ekstremalne, a w przypadku procesu akceptacji ryzyka może ono zostać określone jako akceptowalne, tolerowane, warunkowo tolerowane i nieakceptowalne [Krause, Gołąb 2015].

Metoda oceny ryzyka bezpieczeństwa publicznego, będąca metodą ilościowo-jakościową, 6-parametrową, pozwala na wyznaczenie wskaźnika ryzyka ze wzoru [1] i określenie akceptowalności danego zagrożenia (tab. 1).

$$R = 4[\sum_{i=1}^n(OR, MWZ, CN, LN, SZZ, SI) - 5], \quad (1)$$

gdzie: *R* – ryzyko, *OR* – ograniczenie ryzyka, *MWZ* – możliwość wystąpienia zagrożenia, *CN* – czas narażenia, *LN* – liczba narażonych, *SZZ* – skutek dla zdrowia i życia, *SI* – skutek dla infrastruktury.

Tabela 1. Interpretacja wskaźnika ryzyka

Wartość wskaźnika	Kategoria ryzyka	Opis
do 19	bardzo małe	ryzyko jest akceptowalne i nie istnieje potrzeba podejmowania dodatkowych działań ze względu na skuteczność zastosowanych sił i środków
od 20 do 39	małe	ryzyko jest akceptowalne, jednakże należy rozważyć wprowadzenie nieznacznych zmian ograniczających ryzyko w celu poprawy bezpieczeństwa
od 40 do 59	średnie	ryzyko jest tolerowane, jednakże należy podjąć odpowiednie działania w celu poprawy bezpieczeństwa
od 59 do 79	duże	ryzyko jest nieakceptowalne i istnieje potrzeba wprowadzenia odpowiednich działań je ograniczających
od 80 do 100	bardzo duże	ryzyko jest nieakceptowalne i należy niezwłocznie podjąć odpowiednie działania je ograniczające

Źródło: [Gołąb 2016].

3. Wyniki i dyskusja

3.1. Właściwości fizyczno-chemiczne podłoża i aktywność termiczna zwałowiska

Bezwęglanowe podłoże zwałowiska „Ruda” zalicza się do utworów średnio szkieletowych [PTG 2008] i różni się pod względem aktywności termicznej, składu mechanicznego, wartości pH, przewodnictwa elektrycznego, pojemności wodnej i zawartości materii organicznej (tab. 2).

Wykazane różnice umożliwiły wydzielenie w obrębie zwałowiska 3 stref:

- I – strefa nieaktywna termicznie, gdzie niższy udział części szkieletowych i wyższa zawartość części spławianych w składzie mechanicznym podłoża wpływają na wzrost pojemności wodnej gleby [Tyszkiewicz i in. 2014]. Podłoże charakteryzuje się alkalicznym odczynem, niską wartością przewodnictwa elektrycznego oraz niewielką zawartością materii organicznej.
- II – strefa nieaktywna termicznie z możliwością zapalenia, zlokalizowana w północno-zachodniej części zwałowiska i sąsiadująca ze strefą aktywną termicznie. Podwyższona temperatura podłoża wskazuje na możliwość wystąpienia zjawisk termicznych. W składzie granulometrycznym wzrasta udział części szkieletowych, co skutkuje niższą pojemnością wodną gleby [Tyszkiewicz i in. 2014].

W podłożu o lekko zasadowym odczynie i wysokiej zawartości materii organicznej nieznacznie wzrasta wartość przewodnictwa elektrycznego.

- III – strefa aktywna termicznie, zlokalizowana w północno-zachodniej części zwałowiska, gdzie stwierdzono 4 stanowiska wykazujące objawy początków pożaru endogenicznego – 3 w fazie utleniania oraz 1 na pograniczu fazy samozagrzewania i samozapalenia, na co wskazują jasnoszary dym i wyczuwalny mocny, smolisty zapach [Wasilewski, Korski 2010]. Przyczyną aktywności termicznej jest wyraźnie wyższa szkieletowość podłoża, ułatwiająca jego aerację i skutkująca utlenianiem składników palnych (substancji węglowej, pirytu) [Drenda i in. 2007; Woźniak 2010]. Jest to proces silnie egzotermiczny, prowadzący do samozagrzewania i w konsekwencji samozapalenia składowanego materiału. Następstwem działania wysokiej temperatury, której wartość przy powierzchni zwałowiska przekraczała 60°C jest wyraźny spadek zawartości materii organicznej, która ulega spaleniowi [Woźniak 2010]. Podwyższona temperatura powoduje również silne zakwaszenie podłoża, brak zaś związków wapnia w glebie uniemożliwia jego neutralizację [Greszta, Morawski 1972]. Ponadto wydobywająca się z głębszych warstw para wodna, zawierająca związki mineralne (głównie chlorki i siarczany), ulega w wierzchnich warstwach skropleniu, co implikuje wyraźnym wzrostem zasolenia podłoża ($EC = 2,08$) [Maciak 1999].

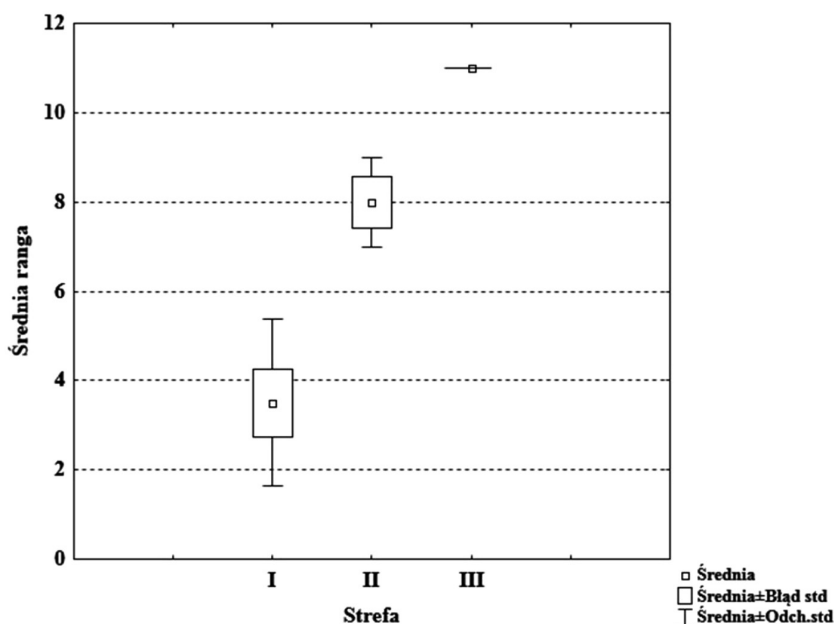
Tabela 2. Parametry fizyczno-chemiczne podłoża zwałowiska „Ruda”
(średnie \pm odchylenia standardowe)

		Strefa		
Parametr		I	II	III
Temperatura [°C]	grudzień 2015	3,35 \pm 0,56	12,40 \pm 0,40	48,17 \pm 1,10
	maj 2016	17,72 \pm 0,44	32,13 \pm 0,61	54,60 \pm 1,25
	lipiec 2016	19,55 \pm 0,69	35,13 \pm 1,06	63,30 \pm 1,95
Uziarnienie	Części szkieletowe [%]	15,47 \pm 1,39	25,91 \pm 11,92	33,49 \pm 10,56
	Części ziemiste [%]	84,53 \pm 1,39	74,09 \pm 11,92	66,51 \pm 10,56
	Fracje [%]			
	1 – 0,1 mm	57,00 \pm 5,40	66,67 \pm 4,04	83,33 \pm 2,52
	0,1 – 0,02 mm	18,83 \pm 2,79	20,00 \pm 3,61	12,33 \pm 3,21
	< 0,02 mm	24,17 \pm 4,83	13,33 \pm 0,58	4,33 \pm 4,16
pH _{KCl}		7,46 \pm 0,18	6,63 \pm 1,01	4,16 \pm 1,00
EC [mS cm ⁻¹]		0,13 \pm 0,01	0,48 \pm 0,26	1,56 \pm 0,55
WHC [%]		23,46 \pm 2,23	19,51 \pm 0,27	18,31 \pm 1,02
SOM [%]		3,80 \pm 0,55	14,20 \pm 6,85	8,03 \pm 5,93
CaCO ₃ [%]		0,44 \pm 0,20	0,08 \pm 0,00	0,04 \pm 0,00

Źródło: opracowanie własne.

3.2. Różnorodność gatunkowa roślinności

Analiza ANOVA Friedmana wykazała istotne statystycznie różnice wartości wskaźnika różnorodności Shannona-Wienera pomiędzy analizowanymi strefami zwałowiska ($\chi^2 = 14,05$, $p = 0,015$), co potwierdziła również wartość współczynnika zgodności Kendalla ($W = 0,94$). Najwyższą różnorodnością gatunkową (średnia ranga 3,67) i bogactwem gatunkowym cechowała się strefa I, gdzie właściwości fizyczno-chemiczne podłoża stwarzały najlepsze warunki siedliskowe dla rozwoju roślinności. W strefie II wskutek niekorzystnych warunków wodno-powietrznych i podwyższonej temperatury podłoża, powodującej zaburzenia w funkcjonowaniu systemu korzeniowego, następował wyraźny spadek różnorodności gatunkowej (średnia ranga 8,00). Konsekwencją panujących warunków siedliskowych był wzrost udziału taksonów eurybiontycznych w składzie gatunkowym roślinności. Wysokie pokrycie uzyskały inwazyjne gatunki obcego pochodzenia – *Conyza canadensis* oraz *Solidago gigantea*, stanowiące poważne zagrożenie dla różnorodności gatunkowej i funkcjonowania ekosystemów obiektu. Strefa III na skutek ekstremalnych warunków siedliskowych – wysokiej temperatury oraz toksycznego dla większości roślin zasolenia, przekraczającego wartość $2,0 \text{ mS cm}^{-1}$, pozbawiona była pokrywy roślinnej (średnia ranga 11,0) (rys. 2, tab. 3 i 4) [Nowosielski 1974; Zając, Zarzycki 2013].



Rys. 2. Porównanie średnich rang wskaźnika różnorodności Shannona-Wienera dla wyróżnionych stref zwałowiska „Ruda” (średnia ± błąd standardowy ± odchylenie standardowe)

Źródło: opracowanie własne.

Tabela 3. Wartości wskaźnika różnorodności Shannona-Wienera obliczone dla wyróżnionych stref zwałowiska „Ruda”

Strefa	I	I	III
Średnia	2,83	2,33	0,00
Odchylenie standardowe	0,04	0,41	0,00

Źródło: opracowanie własne.

Tabela 4. Charakterystyka roślinności zwałowiska „Ruda”

Strefa		I	II
Liczba gatunków		59	22
Zwarcie warstwy drzew [%]		5	0
Zwarcie warstwy krzewów [%]		5	0
Pokrycie warstwy zielnej [%]		100	100
GGH [%]	Apofity	72,88	72,73
	Archeofity	9,38	4,55
	Kenofity	17,19	22,73
KI	Liczba gatunków	7	4
	Średnie pokrycie [%]	37,32	81,00
	Gatunki o najwyższym średnim pokryciu [%]	<i>Solidago gigantea</i> (18,33) <i>Erigeron annuus</i> (7,67) <i>Conyza canadensis</i> (5,00)	<i>Conyza canadensis</i> (48,00) <i>Solidago gigantea</i> (30,33)

Objaśnienia: GGH – grupa geograficzno-historyczna, KI – kenofity o właściwościach inwazyjnych.

Źródło: opracowanie własne.

3.3. Ocena stopnia zapożarowania zwałowiska i ocena ryzyka zagrożenia pożarowego

Uwzględniając bliskość zabudowań mieszkalnych (około 150 m) i ogólnodostępność objętego aktywnością termiczną obszaru zwałowiska, za podstawowe zagrożenie dla mieszkańców i ludzi przebywających w pobliżu uznać należy emitowane do atmosfery gazowe produkty (dwutlenek siarki, dwutlenek azotu, węglowodory alifatyczne i aromatyczne, siarkowodór, dwutlenek siarki) reakcji chemicznych zachodzących wewnątrz zapożarowanej części zwałowiska [Pikoń, Bugła 2007]. Procesom tym towarzyszy często wydzielanie substancji z grupy odorantów (głównie związków siarki i węglowodorów), stanowiących znaczny dyskomfort zapachowy dla okolicznych mieszkańców. Istotnym zagrożeniem jest również wzrost zapylenia atmosfery

w sąsiedztwie zwałowiska, wywołany unoszeniem przez wiatr drobnych i suchych ziaren przepalonego materiału odpadowego [Drenda i in. 2007].

Analiza ryzyka zagrożenia pożarowego pozwoliła na stwierdzenie, iż zapożarowana część zwałowiska zaczyna stanowić poważne zagrożenie dla mieszkańców oraz osób przebywających na hałdzie. Występowanie pożaru przed rokiem 2006 i prace gaszeniowe prowadzone do końca 2011 roku nie przyniosły wymaganych rezultatów, gdyż zwałowisko jest ciągle aktywne termicznie. Ocena ryzyka metodą matrycy ryzyka pozwala na określenie prawdopodobieństwa na poziomie 4 (zdarzenia są systematycznie dokumentowane), natomiast skutków na poziomie B, czyli małym. Sumarycznie ryzyko zagrożenia pożarowego według matrycy ryzyka dostępnej w literaturze [RCB 2010] należy uznać za średnie (nieakceptowalne). Brak akceptowalności ryzyka wynika z faktu potrzeby podjęcia odpowiednich działań, które ograniczyłyby rozwój pożaru na zwałowisku.

Tabela 5. Ocena ryzyka zagrożenia pożarowego według metody matrycy ryzyka

Prawdopodobieństwo	Skutek w ramach kategorii			Skutek
	zdrowie	mienie wraz z infrastrukturą	środowisko	
4	B	C	D	B

Źródło: opracowanie własne.

$$R = 4[\sum_{i=1}^n (5,1,5,4,3,0) - 5] = 4(18 - 5) = 4 \times 13 = 52. \quad (2)$$

Ocena ryzyka metodą bezpieczeństwa publicznego [Gołąb 2016] pozwala na obliczenie wartości wskaźnika ryzyka, który w przypadku zwałowiska wynosi 52 (średnia kategoria ryzyka) (równanie 2). Wartość wskaźnika uzależniona jest w głównej mierze od możliwości ograniczenia ryzyka, które w przypadku pożaru na zwałowisku w chwili obecnej nie jest możliwe, czasu powstania otwartego paleniska czy czasu narażenia (okoliczni mieszkańcy są stale narażeni na kontakt z produktami spalania). Wartość wskaźnika pozwala stwierdzić, iż ryzyko jest tolerowane, jednakże należy podjąć działania poprawiające bezpieczeństwo.

4. Wnioski

1. W północno-zachodniej części zwałowiska „Ruda” stwierdzono objawy pożaru endogenicznego. Powierzchnia obszaru objętego aktywnością termiczną stale powiększa się.

2. Wysoki udział frakcji szkieletowych w składzie granulometrycznym podłoża ułatwia jego aerację, co prowadzi do utleniania składników palnych i w efekcie do samozagrzewania składowanego materiału.

3. Aktywna termicznie północno-zachodnia część zwałowiska na skutek ekstremalnych warunków siedliskowych pozbawiona była pokrywy roślinnej. Czynniki hamujące rozwój roślinności były wysoka temperatura podłoża oraz toksyczne dla większości roślin zasolenie, przekraczające wartość $2,0 \text{ mS cm}^{-1}$.

4. Na powierzchniach nieaktywnych termicznie, ale o podwyższonej temperaturze podłoża, powodującej zaburzenia w funkcjonowaniu systemu korzeniowego roślin, następował wyraźny spadek różnorodności gatunkowej. Wysokie pokrycie uzyskiwały inwazyjne gatunki obcego pochodzenia – *Conyza canadensis* oraz *Solidago gigantea*, stanowiące istotne zagrożenie dla różnorodności gatunkowej i funkcjonowania ekosystemów obiektu.

5. Analiza ryzyka zagrożenia pożarowego pozwala stwierdzić, iż ryzyko jest średnie. Rekultywowane zwałowisko jest ciągle aktywne termicznie i stanowi zagrożenie dla okolicznych mieszkańców. Należy bezzwłocznie podjąć prace gaszeniowe w celu poprawy bezpieczeństwa i niedopuszczenia do dalszego rozwoju pożaru.

Literatura

- Drenda J., Różański Z., Słota K., Wrona P., 2007, *Zagrożenie pożarowe na zwałowiskach odpadów powęglowych*, Gór. i Geoinż., t. 31, z. 3/1, s. 149-157.
- Frank D., Klotz S., 1990, *Biologisch-ökologische Daten zur Flora der DDR*, Martin-Luther-Universität, Halle-Wittenberg, 32(P41), s. 1-167.
- Friedman M., 1937, *The use of ranks to avoid the assumption of normality implicit in the analysis of variance*, Journal of the American Statistical Association, 32(200), s. 675-701.
- Gawor Ł., Warcholik W., Dolnicki P., 2014, *Możliwości eksploatacji złóż wtórnych (zwałowisk pogórnictwa) jako przykład zmian w sektorze przemysłu wydobywczego*, Prace Komisji Geografii Przemysłu PTG, nr 27, s. 256-266.
- Gołąb N., 2016, *Opracowanie systemu bezpieczeństwa placówki oświatowej wraz z charakterystyką zagrożeń i ryzykiem ich występowania na przykładzie wybranych szkół na terenie m.n.p.p. Świętochłowice*, praca dyplomowa magisterska, Politechnika Śląska, Gliwice.
- Greszta J., Morawski S., 1972, *Rekultywacja nieużytków poprzemysłowych*, PWRiL, Warszawa.
- GUGiK, 2016, *Rastrowa mapa topograficzna Polski*, <http://mapy.geoportal.gov.pl/wss/service/img/guest/TOPO/MapServer/WMS/Server> (15.08.2016).
- Halda Ruda ugaszona za 12 milionów złotych, Nowiny Zabrzeńskie, nr 30(847), 28.07.2011.
- Kendall M.G., Smith B.B., 1939, *The problem of m rankings*, The Annals of Mathematical Statistics, 10(3), s. 275-287.
- Krause M., Gołąb N., 2015, *Analiza zagrożeń infrastruktury krytycznej na przykładzie powiatu Świętochłowice*, [w:] Horyń W., Fechner N. (red.), *Bezpieczeństwo – wielorakie perspektywy. Bezpieczeństwo z perspektywy środowisk i obszarów*, t. 1, Poznań.
- Maarel van der E., 1979, *Transformation of cover-abundance values in phytosociology and its effect on community similarity*, Vegetatio, 39, s. 97-114.
- Maciak F., 1999, *Ochrona i rekultywacja środowiska*, Wydawnictwo SGGW, Warszawa.
- Mirek Z., Piękoś-Mirkowa H., Zajac M., 2002, *Flowering Plants and Pteridophytes of Poland – a Checklist*, [w:] Mirek Z. (red.), *Biodiversity of Poland I*, W. Szafer Institute of Botany, Polish Academy of Sciences, Kraków.
- Nowosielski O., 1974, *Metody oznaczania potrzeb nawożenia*, PWRiL, Warszawa.

- Pikoń K., Bugla J., 2007, *Emisja ze zrehabilitowanych zwałowisk stożkowych*, Arch. Gosp. Odpad. Ochr. Środ., vol. 6, s. 55-70.
- PN-R-04032 styczeń 1998, *Gleby i tworzywa mineralne. Pobieranie próbek i oznaczanie składu granulometrycznego*.
- PTG, 2008, *Klasyfikacja uziarnienia gleb i utworów mineralnych*.
- RCB, 2010, *Procedura opracowania raportu cząstkowego do Raportu o zagrożeniach bezpieczeństwa narodowego*, Warszawa.
- Shannon C.E., Wiener W., 1949, *The Mathematical Theory of Communication*, University of Illinois Press, Urbana.
- Skarżyńska K.M., 1997, *Odpady powęglowe i ich zastosowanie w inżynierii lądowej i wodnej*, Wydawnictwo Akademii Rolniczej, Kraków.
- Strzyszczyński Z., Harabin Z., 2004, *Rehabilitacja i biologiczne zagospodarowanie odpadów górnictwa węgla kamiennego ze szczególnym uwzględnieniem zwałowisk centralnych*, IPiŚ PAN, Zabrze.
- Sudnik-Wójcikowska B., Koźniewska B., 1988, *Słownik z zakresu synantropizacji szaty roślinnej*, Uniwersytet Warszawski, Warszawa.
- Szafer M., 1985, *Nowe metody prewencji pożarowej i rehabilitacji technicznej zwałów odpadów kopalnianych*, Przegląd Górniczy, nr 9.
- Tokarska-Guzik B., Dajdok Z., Zajac M., Zajac A., Urbisz A., Danielewicz W., Hołdyński C., 2012, *Rośliny obcego pochodzenia w Polsce ze szczególnym uwzględnieniem gatunków inwazyjnych*, Generalna Dyrekcja Ochrony Środowiska, Warszawa, s. 167-176.
- Tyszkiewicz Z., Czubaszek R., Roj-Rojewski S., 2014, *Ćwiczenia laboratoryjne „Gleboznawstwo”. Skrypt dla studentów*, Wydawnictwo Politechniki Białostockiej, Białystok.
- Wasilewski S., Korski J., 2010, *Wczesne wykrywanie pożarów jako element monitoringu składowisk odpadów powęglowych*, Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa, r. 48, nr 8, s. 3-17.
- Woźniak G., 2010, *Zróżnicowanie roślinności na zwałach pogórnich Górnego Śląska*, Instytut Botaniki im. W. Szafera PAN, Kraków.
- Zajac E., Zarzycki W., 2013, *Wpływ aktywności termicznej zwałowiska odpadów węgla kamiennego na rozwój roślinności*, Roczn. Ochr. Śr., vol. 15, s. 1862-1880.